

# **IONIZADOR SOLAR ALTERNATIVO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE PISCINA**

SOLAR ALTERNATIVE IONIZER FOR SWIMMING POOL WATER  
TREATMENT

**João Calil Mansur Neto**

jcmn@discente.ifpe.edu.br

**Ronaldo Faustino da Silva**

ronaldo.faustino@recife.ifpe.edu.br

---

## **RESUMO**

O ionizador solar é uma solução alternativa e sustentável para o tratamento de água de piscinas, pois visa reduzir a dependência de cloro e minimizar impactos ambientais, tão como a saúde. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar a eficácia de um protótipo de ionizador solar alternativo para o tratamento de água de piscina na cidade do Recife/PE. A pesquisa está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030 (dois mil e trinta), propondo uma tecnologia de baixo impacto ambiental, que reduz a formação de subprodutos prejudiciais à saúde, como os trihalometanos (THMs). O estudo parte de uma revisão bibliográfica abrangente sobre sistemas de desinfecção, analisando modelos pré-existentes e patentes de ionizadores solares para embasar o projeto, assim como a construção de um protótipo funcional na cidade do Recife/PE, utilizando barras de cobre para a liberação de íons antimicrobianos, alimentado por uma placa solar de 12 (doze) Volts. A validação ocorreu por meio da instalação em uma piscina experimental na Rua Guapé, nº 187 (cento e oitenta e sete) no bairro do Zumbi da cidade do Recife, onde parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram monitorados e comparados com os resultados obtidos pela cloração tradicional, conforme a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis). Os resultados incluem a comprovação da eficácia do ionizador solar na manutenção da qualidade da água, uma redução significativa no consumo de cloro e uma análise de custo-benefício, que evidencia a viabilidade da tecnologia, promovendo assim uma alternativa ecológica e economicamente atrativa para a gestão hídrica de piscinas.

Palavras-chave: Piscinas sustentáveis; Energia renovável; Desinfecção alternativa; Qualidade da água.

## ABSTRACT

The solar ionizer represents an alternative and sustainable approach to swimming pool water treatment, as it seeks to reduce dependence on chlorine while minimizing environmental and health-related impacts. The objective of this study was to develop and evaluate the effectiveness of an alternative solar ionizer prototype for swimming pool water treatment in the city of Recife, Pernambuco, Brazil. This research is aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda for Sustainable Development, proposing a low environmental impact technology capable of reducing the formation of harmful disinfection by-products such as Trihalomethanes (THMs), which may pose risks to human health. The study was based on a comprehensive literature review of water disinfection systems, including the analysis of existing models and patents of solar ionizers in order to support the development of the proposed system. A functional prototype was then constructed in Recife using copper bars to release antimicrobial ions, powered by a 12-volt solar panel. The validation process involved installing the prototype in an experimental swimming pool located on Rua Guapé, nº 187, in the Zumbi neighborhood of Recife. During this stage, physicochemical and microbiological parameters were monitored and compared with the results obtained through conventional chlorination methods, in accordance with the ABNT NBR 10818:2016. The results demonstrated the effectiveness of the solar ionizer in maintaining water quality, a significant reduction in chlorine consumption, and a favorable cost-benefit relationship. These findings indicate that the proposed technology represents an environmentally sustainable and economically viable alternative for swimming pool water management.

Keywords: Sustainable swimming pools; Renewable energy; Alternative disinfection; Water quality.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A água, recurso essencial para a manutenção da vida e o bem-estar humano, é elemento central de diversas atividades, incluindo as recreacionais em piscinas. A manutenção da qualidade da água nesses ambientes é fundamental para a saúde pública e é regida por normas rigorosas, como a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), que estabelece parâmetros físico-químicos e microbiológicos para garantir a segurança dos usuários. Tradicionalmente, o cloro tem sido o agente desinfetante mais utilizado, sendo eficaz no controle dos patógenos. Entretanto, seu uso contínuo gera subprodutos indesejáveis, como os THMs, compostos com potencial carcinogênico, que podem também causar irritações na pele, olhos e vias respiratórias (Meyer, 1994). Esta problemática evidencia a necessidade de buscar métodos de tratamento alternativos, que além eficácia microbiológica a menores impactos ambientais e à saúde pública.

A busca por soluções sustentáveis está intrinsecamente ligada ao contexto global de enfrentamento dos desafios ambientais. A Agenda 2030 (dois mil e trinta)

para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pela Organização das Nações Unidas (ONU), dentre os seus 17 (dezesete) ODS, incentiva explicitamente a adoção de tecnologias inovadoras. Particularmente, os números 6 (seis), 9 (nove) e 11 (onze), Água Potável e Saneamento; Indústria, Inovação e Infraestrutura; e Cidades e Comunidades Sustentáveis; respectivamente. Reforçam a importância de garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água, promovendo infraestruturas resilientes e tecnologicamente avançadas. Neste cenário, a gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos, inclusive em contextos recreativos, torna-se um imperativo para o equilíbrio ecológico e o desenvolvimento humano.

O ionizador solar emerge como uma tecnologia promissora para atender a essa demanda. Trata-se de um dispositivo que utiliza energia solar, uma fonte renovável, para liberar íons de cobre na água, elemento com conhecidas propriedades antimicrobianas.

Souza e Oliveira (2019), o cobre atua na ruptura física da célula e na geração de radicais. Os íons dissolvidos passam a circular pela água da piscina, aderem à parede celular bacteriana, alteram a permeabilidade da membrana e causam perda do equilíbrio osmótico. A célula começa a perder nutrientes e água, entrando em colapso.

Martins e Almeida (2023), evidencia que este processo reduz significativamente a dependência de produtos químicos tradicionais, minimizando a formação de subprodutos nocivos e promovendo um ambiente aquático mais seguro.

Conforme destacado por Souza et al. (2023), ao oferecer um método de desinfecção alinhado aos princípios da sustentabilidade, o ionizador solar representa um avanço na gestão da qualidade da água de piscinas.

O objetivo deste estudo foi criar e aferir a eficácia de um protótipo de ionizador solar alternativo para o tratamento de água de piscina na cidade do Recife/PE. A pesquisa busca preencher uma lacuna na aplicação prática e na validação comparativa desta tecnologia em condições locais específicas, confrontando seu desempenho com os métodos convencionais de cloração. Por meio de uma análise que abrange eficiência microbiológica, custo-benefício e sustentabilidade, o estudo pretende contribuir com evidências científicas para a consolidação do ionizador solar como uma opção viável e vantajosa para uma gestão hídrica mais segura e ambientalmente responsável.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Desenvolvimento sustentável**

O desenvolvimento sustentável busca um equilíbrio entre as dimensões ambiental, social e econômica, reconhecendo que a preservação dos recursos naturais é essencial para as gerações futuras. Nesse contexto, a água desempenha um papel crucial, não apenas como recurso vital para o consumo humano, mas também para atividades recreativas, como o uso de piscinas. A gestão responsável da água, com práticas que minimizem desperdícios e impactos ambientais, é fundamental para garantir a sustentabilidade a longo prazo (ONU, 2015).

Alphenz (2024), ressalta que o tratamento adequado da água de piscinas é um exemplo de como as tecnologias e soluções inovadoras podem contribuir para a proteção desse recurso, reduzindo a utilização de produtos químicos nocivos e promovendo ambientes mais seguros para os usuários.

A Figura abaixo, apresenta os 17 (dezessete) objetivos. Estão organizados em um formato mais acessível, desenvolvido pela ONU para facilitar a compreensão da agenda 2030 (dois mil e trinta), e a torna mais próxima de diferentes públicos, promovendo uma maior apropriação e engajamento com os objetivos globais.

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.



Fonte: <https://gtagenda2030.org.br/ods/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

Os ODS definidos pela ONU contemplam 17 (dezessete) metas globais, que visam promover a prosperidade e proteger o meio ambiente até o final da década em questão (ONU, 2015). Diversos desses objetivos estão diretamente relacionados à gestão da água e à preservação de sua qualidade. Dentre os ODS mais relevantes para o tratamento de água de piscinas, destacam-se: ODS 6 (seis), Água Potável e Saneamento, que busca assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água, O ODS 9 (nove), Indústria, Inovação e Infraestrutura, se relaciona com o uso de ionizadores solares ao incentivar tecnologias limpas e eficientes no tratamento de água de piscina, contribuindo para a modernização e sustentabilidade das cidades, O ODS 11 (onze), Cidades e Comunidades Sustentáveis, se relaciona com a redução do uso de produtos químicos e a promoção de energia limpa, contribuindo para ambientes urbanos mais saudáveis e resilientes.

A implementação de soluções como sistemas de tratamento de água com menor impacto ambiental está alinhada com os objetivos, pois promove a gestão sustentável da água, melhora sua qualidade e diminui o impacto ambiental, apoiando a preservação dos recursos hídricos, tão como ofertando alternativas, as quais respeitam os limites ecológicos e promovem a saúde pública.

## **2.2 Gestão da qualidade da água de piscina**

A gestão da qualidade da água de piscinas é essencial para garantir a saúde e a segurança dos usuários.

Segundo Moura (2017), a qualidade da água em piscinas deve ser monitorada continuamente, uma vez que a presença de contaminantes pode resultar em sérios problemas de saúde. A manutenção adequada dos parâmetros físico-químicos, como pH, cloro livre e turbidez, é crucial para prevenir infecções e doenças

Aceda apontado por Lima et al. (2018), a inadequação nos níveis de desinfetantes pode levar à proliferação de microrganismos patogênicos, aumentando o risco de surtos em ambientes aquáticos.

Além dos aspectos sanitários, a gestão eficiente da qualidade da água envolve práticas sustentáveis que visam a preservação dos recursos hídricos. De acordo com Souza e Oliveira (2019), o uso de tecnologias de tratamento, como filtros de alta eficiência e sistemas de desinfecção alternativos, contribui para a redução do consumo de produtos químicos e do desperdício de água. Estas práticas não apenas asseguram um ambiente seguro para os usuários, mas também promovem a sustentabilidade dos recursos naturais, alinhando-se com os objetivos globais de conservação ambiental.

Por fim, a educação dos usuários e gestores de piscinas é um aspecto fundamental para a efetividade da gestão da qualidade da água. Campanhas de conscientização e treinamento adequado para os responsáveis pela manutenção das piscinas podem aumentar a compreensão sobre a importância da qualidade da água e as melhores práticas de gestão. O envolvimento da comunidade é vital para garantir que as normas e procedimentos sejam seguidos, resultando em ambientes aquáticos mais seguros e saudáveis.

## **2.3 Tipos de tratamento de água de piscina**

O tratamento da água de piscinas é crucial para garantir a segurança e o conforto dos usuários. Diversas técnicas e tecnologias podem ser empregadas para manter a água limpa e dentro dos padrões estabelecidos pelas normas de qualidade. Cada tipo de tratamento possui suas características, vantagens e aplicações específicas. Este item descreve os principais tipos de tratamento de água de piscina, conforme as diretrizes da norma NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis) e outras referências relevantes.

Há vários tipos de tratamento de água de piscina, cada um com seu papel para manter a água limpa, cristalina e segura. No geral, o tratamento combina processos físicos, químicos e, às vezes, até biológicos.

### **2.3.1 Tratamentos físicos**

Os tratamentos físicos para água de piscina são todas as operações, que visam à remoção de impurezas sem a utilização de produtos químicos que alterem a natureza da sujeira. Eles atuam principalmente na clarificação da água, removendo

partículas em suspensão, e são a base de qualquer sistema de filtragem. Em suma, os tratamentos físicos lidam com a matéria visível e partículas, enquanto os tratamentos químicos lidam com a matéria dissolvida e microrganismos. Abaixo estão os principais tratamentos físicos:

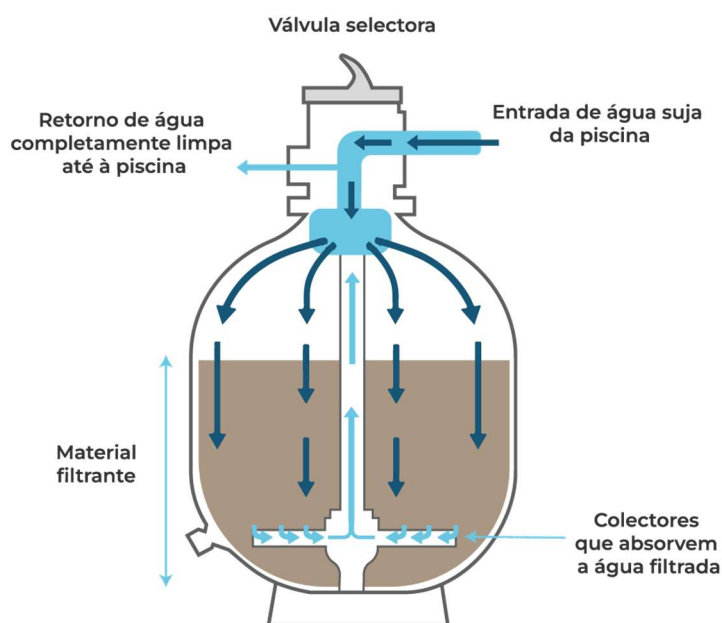
### 2.3.1.1 Sistemas de filtragem

Os sistemas de filtragem são fundamentais no tratamento da água de piscinas, pois são responsáveis por remover partículas sólidas e outros contaminantes. Existem diversos tipos de filtros, cada um com suas especificidades e eficiências. A seguir, são descritos os principais tipos de filtros utilizados em piscinas.

#### 2.3.1.1.1 Filtros de areia

Os filtros de areia são amplamente utilizados em sistemas de tratamento de água de piscina devido à sua eficiência em remover partículas sólidas. Esses filtros são eficazes na retenção de impurezas e possuem um funcionamento simples e de baixo custo. De acordo com a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), os filtros de areia devem ser dimensionados de acordo com a capacidade da piscina e a carga de contaminantes esperada, garantindo assim a eficiência do sistema de filtragem.

Figura 2. Esquema genérico de um filtro de areia.

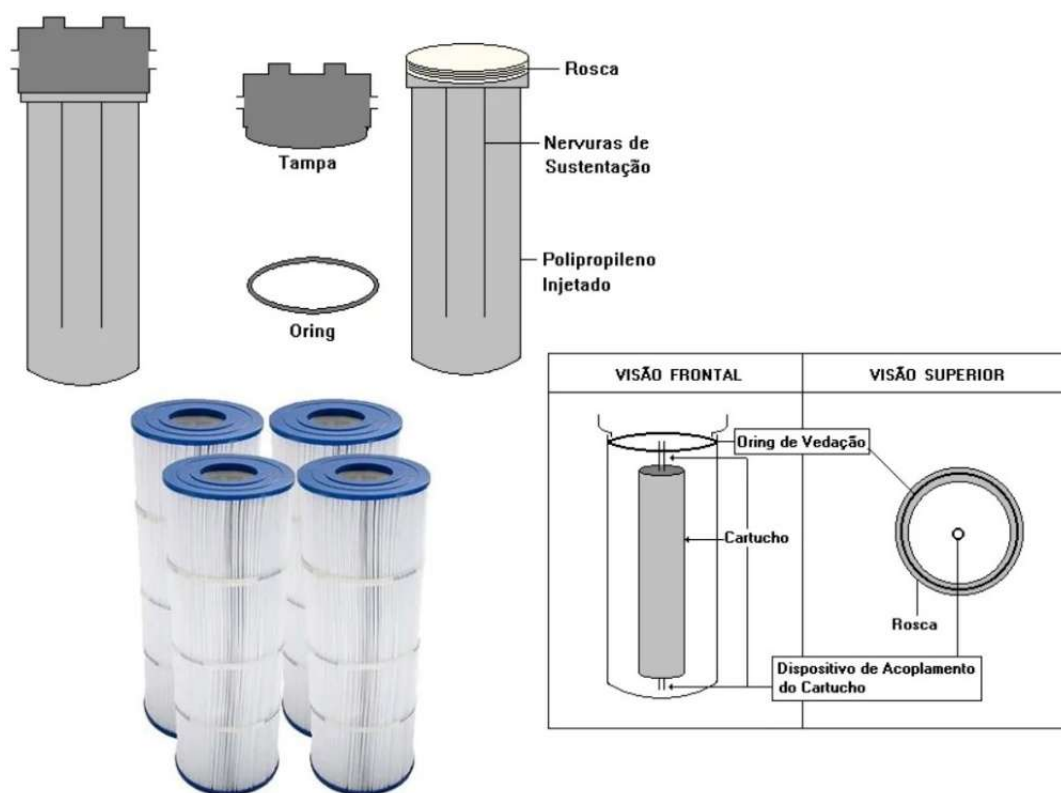


Fonte: <https://vestatex.es/pt/filtracion-piscina/filtros/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

### 2.3.1.1.2 Filtros de cartucho

Os filtros de cartucho oferecem uma alternativa compacta e eficaz para a filtragem da água. Eles são capazes de reter partículas menores em comparação com os filtros de areia, proporcionando uma filtragem mais detalhada e eficiente. A manutenção dos filtros de cartucho envolve a limpeza periódica ou substituição dos cartuchos, o que torna o sistema fácil de manter, porém com um custo potencialmente mais alto a longo prazo. Segundo a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), esses filtros são particularmente recomendados para piscinas de menor porte ou em situações onde o espaço é limitado.

Figura 3. Esquema genérico de um filtro de cartucho.

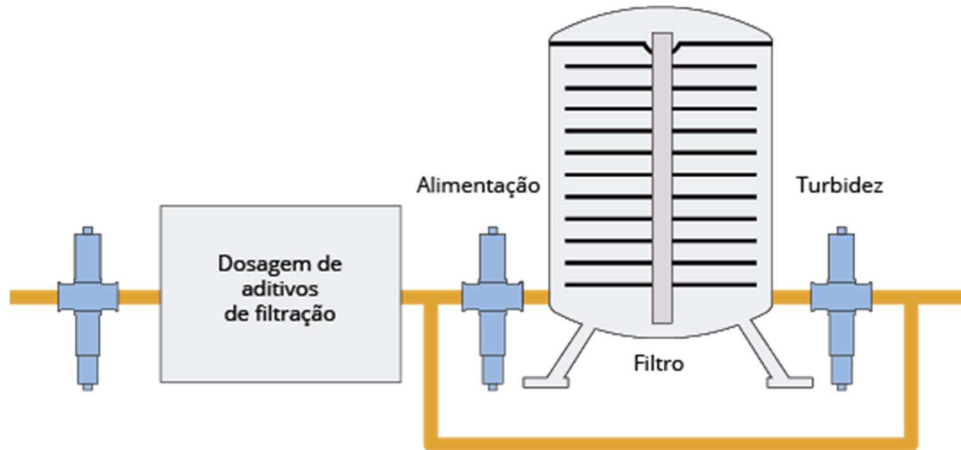


Fonte: <https://hidrot.com.br/tratamentodeagua/filtros-de-cartucho-elementos-filtrantes/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

### 2.3.1.1.3 Filtros por terra diatomácea

Os filtros de diatomácea utilizam uma camada de diatomácea para capturar partículas minúsculas, proporcionando uma filtragem mais fina e detalhada. Este tipo de filtro é altamente eficiente na remoção de partículas invisíveis a olho nu, garantindo uma água de alta qualidade. No entanto, os filtros de diatomácea requerem uma manutenção mais intensiva, incluindo a troca periódica da diatomácea, para garantir a eficiência contínua do sistema. De acordo com a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), a utilização de filtros de diatomácea é recomendada para piscinas que exigem uma qualidade de água superior.

Figura 4. Esquema genérico de um filtro por terra diatomácea.



Fonte: <https://www.optek.com/pt/quimica/controlado-filtro.asp>. Acesso em: 30 nov. 2025.

Tabela 1. Resumo dos principais sistemas de filtragem.

TIPOS	DESCRIÇÃO	EFICIÊNCIA	MANUTENÇÃO	RECOMENDAÇÕES
Filtros de areia	Amplamente utilizados e removem partículas sólidas de maneira eficiente.	Eficaz na remoção de partículas grandes e médias.	Requer limpeza periódica da areia.	Indicados para piscinas de maior porte e com alta carga de contaminantes.
Filtros de cartucho	Alternativa compacta e eficaz na retenção de partículas menores.	Retém partículas menores que os filtros de areia.	Exige limpeza periódica ou substituição dos cartuchos.	Ideal para piscinas de menor porte ou em áreas com espaço limitado.
Filtros por terra diatomácea	Utilizam uma camada de terra diatomácea para filtrar partículas minúsculas.	Muito eficaz na remoção de partículas minúsculas e impurezas.	Requer manutenção intensiva e troca periódica da diatomácea.	Recomendados para piscinas, que necessitam de água de alta qualidade.

Fonte: Autor.

Cada tipo de filtro tem suas particularidades quanto à eficiência de filtragem, manutenção e recomendação de uso, dependendo das necessidades da piscina e da carga de contaminantes. O filtro de areia é mais adequado para piscinas de maior porte, enquanto o de cartucho é indicado para espaços menores. Já o filtro de terra diatomácea, oferece a filtragem mais fina, porém requer maior manutenção.

### 2.3.1.2 Decantação

É o processo natural pelo qual partículas sólidas, mais densas que a água, se depositam no fundo da piscina por ação da gravidade. Embora seja um processo passivo, a aspiração é a ação física que remove essas partículas decantadas.

Figura 5. Piscina com material decantado.



Fonte: [https://blog.parapiscina.com.br/porque-a-piscina-nao-decanta/#google\\_vignette](https://blog.parapiscina.com.br/porque-a-piscina-nao-decanta/#google_vignette). Acesso em: 01 dez. 2025.

### 2.3.1.3 *Aspiração*

É a remoção manual ou automática de detritos que se acumulam no fundo e nas paredes da piscina. No método manual, conecta-se uma mangueira e um bocal de aspiração ao sistema de filtragem da piscina, permitindo que o usuário remova a sujeira, e por robôs, os dispositivos possuem seu próprio sistema de filtragem (bomba e filtro) e percorrem a piscina, coletando detritos em um saco ou cartucho filtro.

Figura 6. Aspiração Manual.



Fonte: <https://nautilusbr.com/blog/aspirador-de-piscina/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

Figura 7. Aspiração autônoma.



Fonte: <https://jigbrasil.com.br/products/aspirador-para-piscina-robo-sem-fio>. Acesso em: 01 dez. 2025.

### **2.3.2 Tratamentos químicos**

Os sistemas de desinfecção da água de piscinas desempenham um papel crucial na manutenção da qualidade da água e na proteção da saúde dos usuários. Entre os métodos tradicionais, a cloração continua sendo amplamente utilizada devido à sua eficácia na eliminação de patógenos e controle de algas. Segundo a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), a cloração deve ser ajustada para manter os níveis de cloro livre entre 1 (um) e 3 (três) mg/L, garantindo a desinfecção adequada da água e a segurança dos banhistas. No entanto, a cloração também tem limitações, como a formação de subprodutos que podem causar irritações e a necessidade de manejo cuidadoso dos produtos químicos.

De acordo com Duarte e Vasconcelos (2006), a desinfecção é uma etapa fundamental do processo de tratamento da água, destinada à inativação de microrganismos patogênicos por meio de agentes químicos, como cloro, ozônio e bromo, ou métodos complementares, como o emprego da radiação ultravioleta (UV). Esses procedimentos são aplicados para garantir que os microrganismos presentes na água não constituam um risco significativo de infecção.

Os avanços tecnológicos mais recentes, oportunizaram novos métodos como a ionização e o tratamento por ozônio, os quais estão ganhando destaque rapidamente. O ionizador solar, por exemplo, utiliza energia solar para liberar íons de cobre ou prata, que possuem propriedades antimicrobianas e ajudam a manter a água limpa com menor uso de produtos químicos.

Wesen (2024), destaca que esses sistemas não apenas proporcionam uma solução ecológica e econômica, mas também minimizam os riscos associados ao manuseio de produtos químicos e reduzem a incidência de irritações na pele e olhos dos nadadores. Essa abordagem representa uma tendência crescente em direção a métodos de desinfecção mais sustentáveis e menos agressivos.

Outro método atual é o tratamento por ultravioleta, que utiliza luz UV para inativar microrganismos sem a adição de produtos químicos. Este sistema é eficaz contra uma ampla gama de patógenos e é frequentemente usado em combinação

com outros métodos para garantir uma desinfecção completa. A NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis) recomenda que os sistemas UV sejam operados com manutenção adequada para garantir sua eficácia, considerando que a água deve estar suficientemente clara para permitir que a radiação UV penetre e inative os microrganismos. A integração de diferentes tecnologias de desinfecção permite uma abordagem mais completa e eficiente no tratamento da água de piscinas.

### 2.3.2.1 Cloração

No Brasil, em geral, o cloro é o mais utilizados na desinfecção tanto em água potável como em água de piscinas, porém em piscinas quando o produto é utilizado de forma incorreta pode trazer malefícios para os usuários, como irritação na pele, olhos e mucosas.

O uso do cloro no tratamento de água é fundamental para a desinfecção eficaz, eliminando bactérias e fungos, que podem ser prejudiciais à saúde e inibindo a proliferação de microrganismos e algas.

Conforme Meyer (1994), apesar de existirem alternativas ao cloro, sua substituição pode representar mais riscos do que benefícios, especialmente em termos de saúde pública. A ampla adoção da cloração foi determinante para a redução da incidência de doenças transmitidas pela água, uma vez que o cloro se mostrou altamente eficaz na eliminação de patógenos. Esse avanço representou um marco no controle de surtos de doenças hídricas, promovendo uma melhoria significativa na qualidade da água e na proteção da saúde coletiva.

Segundo Meyer (1994), a presença de compostos orgânicos em águas que passam pelo processo de cloração pode levar à formação de THMs, compostos potencialmente carcinogênicos. Esses subprodutos surgem a partir da reação do cloro com compostos orgânicos presentes na água. Para garantir a qualidade da água das piscinas e reduzir riscos à saúde, é fundamental minimizar a presença de compostos indesejados, como os patógenos que podem causar doenças. A cloração é um dos métodos mais comuns e eficazes para atingir esse objetivo. A cloração manual, um dos métodos tradicionais de tratamento, consiste na adição direta de cloro à água, sendo necessário ajustar a quantidade para manter os níveis de cloro livre entre 1 (um) e 3 (três) mg/L. De acordo com a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), esses níveis são essenciais para garantir a eficácia na eliminação de patógenos, como bactérias e vírus, que podem comprometer a saúde dos usuários.

A cloração automatizada, é uma abordagem mais moderna, utiliza sistemas automáticos de dosagem, equipados com sensores, que monitoram constantemente os níveis de cloro na água. Esses sistemas ajustam a dosagem de cloro conforme necessário, garantindo uma manutenção contínua da qualidade da água e oferecendo uma solução prática e eficiente para o tratamento.

Ambos os métodos visam garantir a segurança dos banhistas e a eficiência do processo de desinfecção, mas a cloração automatizada se destaca por sua conveniência e consistência.

Metcalf (2014), o consumo de cloro é de aproximadamente 4g (quatro) por m<sup>3</sup>. Considerando o custo exclusivamente do cloro entre R\$ 0,025 (vinte e cinco milésimos) a 0,04 (quatro centésimos) por grama de cloro, o custo final é de R\$ 0,10 (um décimo) a 0,16 (dezesesseis centésimos) por m<sup>3</sup>.

Figura 8. Clorador flutuante.



Fonte: <https://reinaldopiscinas.com.br/tipos-de-cloro-para-piscina/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

### 2.3.2.2 Bromo

O tratamento com bromo é um método químico popular e eficaz para a desinfecção de água em piscinas, especialmente em ambientes fechados, spas e piscinas aquecidas. O bromo é um elemento químico da família dos halogênios, assim como o cloro. Na desinfecção de piscinas, ele é utilizado na forma de compostos orgânicos e inorgânicos que, ao se dissolverem na água, liberam o ácido hipobromoso (HOBr), que é um ácido fraco e instável, sendo um agente desinfetante ativo que destrói bactérias, vírus e algas.

De acordo com a RWQC (2018), o bromo está na mesma família química do cloro e funciona como um sanitizante e oxidante que destrói contaminantes. Quando o bromo se combina com contaminantes orgânicos na água para formar bromaminas, esses compostos mantêm suas propriedades eficientes de sanitização, ao contrário das cloraminas formadas com cloro.

O mecanismo é semelhante ao do cloro: o ácido hipobromoso oxida e destrói a membrana celular dos microrganismos, inviabilizando-os. A principal diferença está no seu comportamento em diferentes pHs e, sobretudo, na forma como lida com os contaminantes.

O uso do bromo é bastante vantajoso em relação ao cloro em águas quentes, pois o cloro evapora rapidamente em temperaturas elevadas, já o bromo mantém sua eficácia. Por isso, é o desinfetante preferido para spas, piscinas terapêuticas e piscinas aquecidas. Além do mais, causa menos irritação na pele, olhos e vias respiratórias, uma vez que não forma cloraminas (subprodutos irritantes do cloro). Ele forma bromaminas. A diferença crucial é que as bromaminas são desinfetantes ativas e inodoras, ou seja, não produz o odor característico do cloro. O bromo também é

eficaz em níveis de pH mais altos se comparado ao cloro, o que pode facilitar o controle do equilíbrio químico da água.

Por outro lado, o bromo é instável sob radiação UV, pois se decompõe rapidamente quando exposto à luz solar direta. Por isso, não é o mais indicado para piscinas externas, a menos que seja usado em conjunto com um estabilizante, como o ácido cianúrico ( $C_3N_3O_3H_3$ ) por exemplo, o que não é comum. Os produtos à base de bromo são geralmente mais caros que os equivalentes de cloro.

O bromo é uma alternativa superior ao cloro em ambientes fechados e aquecidos, devido ao seu conforto para os usuários e estabilidade térmica. No entanto, para piscinas externas expostas ao sol, o cloro (devidamente estabilizado) geralmente oferece uma solução mais prática e econômica. A escolha entre um e outro deve considerar o tipo de piscina, o orçamento e a sensibilidade dos usuários.

Richardson (1995), o consumo de bromo é cerca de 5g (cinco) por  $m^3$ . Considerando o custo exclusivamente do bromo entre R\$ 0,10 (um décimo) a 0,13 (treze centésimos) por grama de bromo, o custo final é de R\$ 0,50 (cinquenta centésimos) a 0,65 (sessenta e cinco centésimos) por  $m^3$ .

### 2.3.2.3 Ozônio

O tratamento de piscinas por ozônio utiliza o gás ozônio ( $O_3$ ) para desinfetar a água, sendo altamente eficaz na eliminação de microrganismos e na oxidação de contaminantes orgânicos. Segundo a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), a aplicação de ozônio deve ser cuidadosamente controlada para garantir tanto a eficácia quanto a segurança do processo.

Além do uso isolado de ozônio, a combinação de ozônio com cloração pode ser uma estratégia eficaz para maximizar os resultados do tratamento e reduzir a quantidade de cloro necessária. Este método híbrido, comumente adotado em instalações maiores e em ambientes onde a qualidade da água é essencial, aproveita os benefícios de ambos os métodos, proporcionando um tratamento mais eficiente.

A ação antioxidante do ozônio também elimina impurezas como protetor solar, produtos aplicados na pele, suor, urina e outras secreções, além de agir eficazmente contra vírus e microrganismos. Isso torna o ozônio uma opção extremamente eficiente no tratamento da água de piscinas, especialmente contra agentes patogênicos.

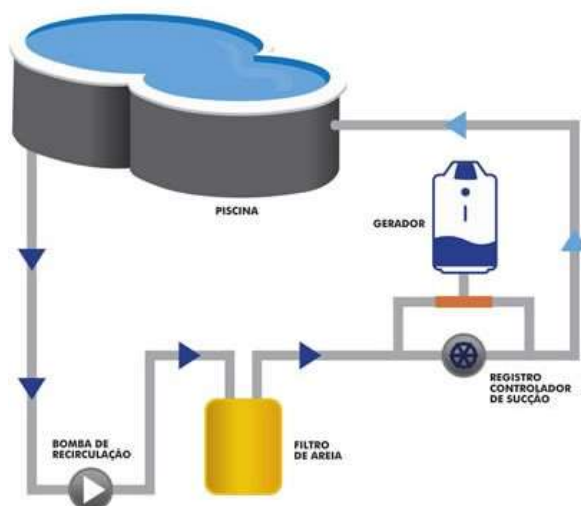
Hansen (2016), pontua que uma compreensão ampla da ozonização em piscinas pode ajudar no projeto e implementação de um sistema de tratamento com ozônio mais custo-eficiente e, assim, minimizar a ocorrência de subprodutos de desinfecção em piscinas.

Os geradores de ozônio para piscinas residenciais oferecem diversos benefícios, destacando-se por eliminar desconfortos típicos associados ao uso de cloro. Alguns dos principais benefícios incluem a ausência do ressecamento da pele e cabelos, ausência da ardência nos olhos e não causa reação alérgica. Este método é, portanto, uma alternativa eficiente, confortável e ecológica para a manutenção da qualidade da água em piscinas.

Segundo Lazzari (2020), o tratamento de água de piscina com ozônio não é possível tabelar diretamente por volume, porque o modelo é diferente do cloro. Há um

custo de investimento nos equipamentos e um custo operacional, que é baixo, porém ainda superior ao cloro.

Figura 9. Esquema genérico do tratamento por ozônio.



Fonte: <https://gonsolaquecedores.com.br/tratamento-de-piscina-com-ozonio/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

#### 2.3.2.4 Peróxido de hidrogênio

O tratamento de piscinas com peróxido de hidrogênio, também conhecido como água oxigenada, é um método que se enquadra mais como um oxidante não-clorado do que propriamente um desinfetante tradicional. Seu uso requer entendimento específico para ser seguro e eficaz.

De acordo com Tatarчук (2024), o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) pode ser eficazmente usado para inativar *Escherichia coli* e degradar contaminantes orgânicos.

O peróxido de hidrogênio é um oxidante poderoso utilizado em piscinas como uma alternativa ao cloro e bromo. Diferente desses, ele não é um desinfetante residual estável. Sua ação é rápida, o que define suas principais vantagens e limitações.

O  $H_2O_2$  atua quebrando (oxidando) a membrana celular de microrganismos e decompondo matéria orgânica, como gorduras, urina e suor, por exemplo, por meio de uma reação redox. Quando se decompõe, libera oxigênio e água ( $2 H_2O_2 \rightarrow 2 H_2O + O_2$ ).

No entanto, para que ele funcione como um sistema completo de tratamento, é imperativo que seja usado em conjunto com um ativador ou outro agente para fornecer uma desinfecção residual. O sistema mais comum é o peróxido de hidrogênio estabilizado com prata ( $Ag^+$ ).

O peróxido de hidrogênio proporciona um ambiente mais saudável e confortável, pois não forma subprodutos nocivos, como as cloraminas, que causam o odor do cloro e THMs. É ideal para pessoas sensíveis, pois não causa ardência nos olhos, irritação na pele e nem ressecamento de cabelo, assim como não desbota roupas de banho.

Os subprodutos do peróxido de hidrogênio são apenas água e oxigênio, tornando-o uma opção ecologicamente correta. É frequentemente associado a práticas de piscina natural ou biopiscina quando integrado a sistemas de filtração biológica. Sua forte ação oxidante é muito eficaz em quebrar a matéria orgânica, resultando em uma água visualmente muito límpida e brilhante.

A principal desvantagem é o  $H_2O_2$  puro se decompõe rapidamente na água, não fornecendo proteção residual de longo prazo contra a contaminação por novos microrganismos. Isso torna a piscina vulnerável a contaminações entre uma aplicação e outra. A solução para contornar isso, é usar íons de prata ( $Ag^+$ ) para estabilizar o peróxido de hidrogênio tornando-o num método viável. A prata age como um bactericida e algicida de longo prazo, fornecendo o residual necessário.

O nível ideal deve ser mantido rigorosamente entre 30 (trinta) e 50 (cinquenta) ppm (partes por milhão). Abaixo disso, o tratamento é ineficaz. A medição requer testes específicos para peróxido de hidrogênio. Os testes tradicionais de cloro não funcionam e podem fornecer leituras falsas. Para converter uma piscina de cloro para  $H_2O_2$ , é necessário esvaziá-la e lavá-la completamente ou esperar que o nível de cloro chegue a zero antes de iniciar a aplicação do peróxido.

O tratamento com peróxido de hidrogênio é uma alternativa viável e de alta qualidade para quem busca uma piscina mais natural, saudável e confortável. No entanto, ele exige disciplina, conhecimento técnico e um investimento em testes e produtos específicos.

Parsons (2004), o consumo de peróxido de hidrogênio é de 0,1L (um décimo) por  $m^3$ . O custo exclusivamente do peróxido de hidrogênio no tratamento de piscina está no intervalo entre R\$ 1,50 (um inteiro e cinco décimos) a 3 (três) por  $m^3$ .

### **2.3.3 Tratamentos complementares**

Além das tradicionais técnicas de desinfecção e oxidação utilizando cloro e bromo, existem diversas outras abordagens inovadoras e eficazes para o tratamento da água das piscinas. Entre essas técnicas alternativas, destacam-se a radiação UV e a ionização, cada uma com suas particularidades e benefícios.

Segundo Wesen (2024), a radiação ultravioleta utiliza luz UV para destruir microrganismos e agentes patogênicos presentes na água, sem a necessidade de produtos químicos, tornando o processo mais ecológico e seguro para os banhistas.

A ionização, realizada com metais nobres como cobre e prata, libera íons que ajudam a controlar o crescimento de algas e microrganismos, oferecendo uma solução mais suave e menos irritante para a pele e os olhos dos usuários, como apontado por Duarte e Vasconcelos (2006).

Essas tecnologias alternativas não apenas reduzem a dependência de produtos químicos tradicionais, mas também contribuem para a sustentabilidade e o bem-estar geral.

#### **2.3.3.1 Radiação ultravioleta (UV)**

O tratamento por ultravioleta é uma tecnologia de purificação de água que utiliza raios UV para inativar microrganismos presentes na água. Este processo é simples e eficaz, aproveitando um comprimento de onda da radiação solar, entre 200 (duzentos) e 300 (trezentos) nm, que é altamente germicida. A radiação UV é uma tecnologia amplamente encontrada na natureza, sendo utilizada de forma natural para esterilização. Tradicionalmente, é utilizada na desinfecção de água potável para domicílios, hospitais, aquicultura, tratamento de efluentes, e também no tratamento de água de spas e piscinas, tanto públicas quanto particulares. De acordo com a NBR 10818:2016 (dez mil oitocentos e oitenta e oito / dois mil e dezesseis), o sistema UV é eficaz na destruição de bactérias, vírus e protozoários, e é frequentemente usado como complemento a outros métodos de tratamento de água.

Ekowati (2019), afirma que tecnologias alternativas de desinfecção, como ozônio e UV, são eficazes na inativação microbiana e formam poucos ou nenhum subproduto de desinfecção (DBP), podem ajudar a reduzir a dosagem de cloro e minimizar a formação de DBP clorados na água de piscinas.

Os sistemas UV requerem manutenção regular para garantir seu funcionamento adequado. As lâmpadas UV precisam ser monitoradas para assegurar que estejam operando corretamente. Além disso, é importante garantir que a água não esteja turva, pois isso pode reduzir a eficácia da radiação UV, prejudicando a desinfecção. A manutenção adequada é essencial para maximizar a eficiência desse sistema.

De acordo com Ilyas et al. (2018), o custo do tratamento por UV depende do tamanho da piscina, potência do equipamento e do tempo de duração diária. O custo operacional mensal para um sistema residencial numa piscina de até 50.000L (cinquenta mil) é entre R\$ 0,33 (trinta e três centésimos) a 0,73 (setenta e três centésimos) por m<sup>3</sup>. Os valores não levam em consideração o custo de instalação e manutenção dos equipamentos.

Figura 10. Esquema genérico do tratamento por UV.



Fonte: <https://www.conic-semesp.org.br/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

### 2.3.3.2 Ionização de cobre e prata

A ionização da água de piscina com cobre e prata é uma tecnologia moderna e automática que visa substituir a aplicação de cloro no processo de tratamento da

água. Seu objetivo principal é a manutenção da água da piscina por meio da clarificação e eliminação de impurezas, como bactérias e algas, proporcionando uma solução mais ecológica e saudável. Além disso, a ionização ajuda a evitar reações alérgicas comumente associadas ao uso de produtos químicos tradicionais, oferecendo uma alternativa menos agressiva à saúde dos usuários.

A ionização com cobre é eficaz contra muitos microrganismos, porém é importante destacar que não possui poder oxidante, o que significa que ela não age sobre todas as impurezas presentes na água, como algumas substâncias orgânicas e resíduos sólidos. Portanto, a ionização pode ser usada como complemento a outros métodos de tratamento para garantir uma purificação mais completa.

Segundo Landeen et al. (1989), íons de cobre e prata com baixos níveis de cloro livre parecem ter atividades bactericidas maiores do que cada desinfetante isoladamente.

#### *2.3.3.2.1 Ionizador solar*

O ionizador solar é uma tecnologia emergente, que utiliza a energia solar para gerar íons de cobre ou prata, os quais têm a capacidade de inibir o crescimento de microrganismos e algas na água.

Wesen (2024), evidencia que essa abordagem oferece uma solução sustentável e eficaz, pois reduz a dependência de produtos químicos tradicionais, proporcionando uma alternativa ecológica no tratamento da água. Além do ionizador solar, existem sistemas de ionização que utilizam outras fontes de energia, como a eletricidade convencional, para gerar os íons necessários. Embora funcionem de maneira semelhante ao ionizador solar, esses sistemas podem apresentar variações em termos de custo e eficiência.

O ionizador solar utiliza a energia da luz solar para iniciar o processo de ionização na piscina. Quando a luz solar atinge o painel solar, ela gera uma tensão muito baixa, completamente inofensiva, que energiza um eletrodo de cobre localizado na parte submersa do sistema. Esse processo resulta na liberação de íons na água, que são então dispersos por toda a piscina. Esse método não só oferece uma alternativa sustentável ao uso de cloro, como também reduz os custos operacionais, uma vez que a energia solar é utilizada de maneira eficiente.

O ionizador solar é comercializado de acordo com a capacidade da piscina. Um ionizador para uma piscina de até 50.000L (cinquenta mil) custa cerca de R\$ 230 (duzentos e trinta). Não há custo de manutenção, por isso diluindo o valor em 24 (vinte e quatro) meses de uso, por exemplo, equivale a um custo mensal de R\$ 0,19 (dezenove centésimos) por m<sup>3</sup>.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Área de estudo**

O experimento foi realizado na Rua Guapé, nº 187 (cento e oitenta e sete), localizada no bairro do Zumbi da cidade do Recife (PE). O local selecionado para a execução do ensaio atendeu aos critérios de exposição solar plena, visando ao máximo aproveitamento da irradiação solar incidente. Além disso, considerou-se a necessidade de privacidade e controle de acesso, sendo o experimento conduzido em área isolada, de modo a impedir a entrada de pessoas não autorizadas e garantir a integridade das condições experimentais.

### 3.2 Materiais

- Piscina 1000 (um mil) L;
- Fertilizante mineral misto NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) 10-10-10 (dez – dez – dez) da MaxGreen 20 (vinte) ml;
- Placa solar de 12 (doze) V de 11 (onze) x 14 (quatorze) cm;
- Placa de EPS (poliestireno expandido) de 13 (treze) x 23 (vinte e três) cm;
- Barra de cobre de 20 (vinte) cm de comprimento x 2 (dois) cm de diâmetro (duas unidades);
- Garrafa pet de refrigerante de 1 (um) L (duas unidades);
- Abraçadeiras de nylon;
- Fita de empacotamento;
- Fita para medição de pH (potencial de hidrogênio) da MFL.

### 3.3 Desenvolvimento de um protótipo de um ionizador solar

A construção do ionizador consistiu no apoio da placa solar sobre a placa de EPS, com o objetivo de garantir estabilidade estrutural. A placa de EPS foi fixada sobre as garrafas pet, responsáveis por proporcionar a flutuação do conjunto. As barras de cobre foram anexadas às extremidades das garrafas, permanecendo com 13 (treze) cm da sua extensão em contato direto com a água. As abraçadeiras e a fita de empacotamento foram utilizadas para a fixação e sustentação dos elementos do conjunto.

Figura 11. Protótipo de um ionizador solar.



Fonte: Autor.

A piscina foi enchida com água fornecida pela Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) até a marcação de 1000 (um mil) litros no dia 6 (seis) de fevereiro de 2026 (dois mil e vinte e seis). Logo após o enchimento, foram lançados 20 (vinte) ml do fertilizante mineral misto para adicionar nutrientes ao volume de água da piscina.

Figura 12. Piscina após o enchimento.



Fonte: Autor.

Após 6 (seis) dias, ou seja, 12 (doze) de fevereiro, foi realizada a primeira coleta de amostra e encaminhada para o laboratório. Imediatamente a coleta, foi inserido o ionizador construído para o experimento.

Figura 13. Piscina durante a coleta da primeira amostra.



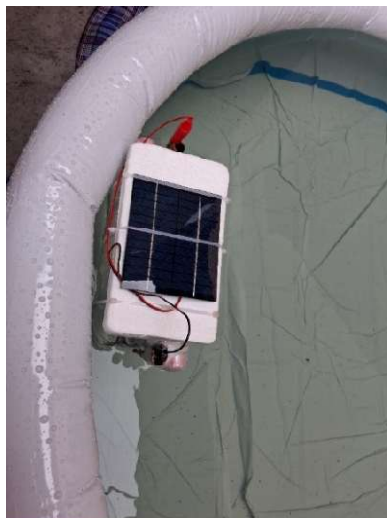
Fonte: Autor.

O laboratório, que analisou a amostra de água foi o Agrolab, situado na Rua Sant'Anna, nº 486 (quatrocentos e oitenta e seis) no bairro de Casa Forte da cidade

do Recife (PE). O teste realizado foi de presença/ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* em 100 (cem) mL.

O ionizador atuou durante 13 (treze) dias consecutivos, sendo removido apenas para uma rápida higienização das barras de cobre. No dia 25 (vinte) de fevereiro do corrente ano, foi coletada uma segunda amostra e encaminhada para o mesmo laboratório, que analisou a primeira amostra.

Figura 14. Piscina durante a coleta da segunda amostra.



Fonte: Autor.

A partir do dia 20 (vinte) de fevereiro, realizou-se a primeira medição do pH da água. Posteriormente, novas leituras foram realizadas a cada 24 (vinte e quatro) horas, durante um período total de 6 (seis) dias. O kit utilizado baseia-se na comparação visual da amostra com uma escala de cores padronizada, não apresentando valores decimais, mas apenas intervalos numéricos inteiros, que variam de 1 (um) a 14 (quatorze).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O pH da água foi aferido na semana final do ensaio, e todas as medições indicaram valores entre 6 (seis) e 7 (sete), demonstrando estabilidade ao longo do período analisado. Ressalta-se que o pH considerado ideal é 7 (sete), valor que caracteriza a neutralidade da água.

A análise microbiológica realizada pelo laboratório Agrolab indicou que a primeira amostra não atendeu aos padrões estabelecidos pela legislação vigente para consumo humano, conforme a Portaria GM/MS nº 888/2021 (oitocentos e oitenta e oito / dois mil e vinte e um), em razão da detecção de coliformes totais e de *Escherichia coli*. Por outro lado, na segunda análise não foi detectada presença significativa de coliformes totais nem de *E. coli*, atendendo, portanto, aos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente. Esses resultados evidenciam a eficácia do ionizador solar no tratamento da água da piscina.

Do ponto de vista da inspeção visual, a adição de NPK no início do experimento provocou intencionalmente o fenômeno de eutrofização, caracterizado pelo enriquecimento da água por nutrientes, o que favoreceu o crescimento de algas microscópicas e resultou na coloração esverdeada da água. Durante o experimento, o ionizador atuou como um algicida, reduzindo significativamente a presença dessas algas e restabelecendo uma coloração mais neutra ao final do ensaio.

Kim (2016), assevera que íons de cobre demonstraram ter capacidades biocidas comprovadas e são usados em várias aplicações de tratamento de água, como desinfecção de água de resfriamento e de piscinas.

Shinohara (1983), afiança que íons metálicos de cobre interagem com componentes celulares e interrompem processos metabólicos essenciais em microrganismos, tornando-os ferramentas eficazes para a sanitização de água.

Kuts et al. (2020), nota que ao longo da última década, sistemas, que utilizam íons de cobre e prata gerados eletroliticamente, tornaram-se tecnologia difundida de desinfecção de água de piscina. A solução forma compostos insolúveis com substâncias liberadas pelos usuários na água, assim proporcionando um efeito bactericida de longo prazo.

## **5 CONCLUSÃO**

O estudo demonstrou a viabilidade técnica e a eficácia do protótipo de um ionizador solar alternativo para o tratamento de água de piscinas. A construção e a aplicação do equipamento em uma piscina experimental na cidade do Recife/PE evidenciaram que a liberação de íons de cobre, alimentada por energia solar, atua de forma eficiente na manutenção da qualidade hídrica.

Os resultados obtidos comprovaram a ação antimicrobiana e algicida do sistema. Após a indução intencional do fenômeno de eutrofização por meio da adição de fertilizante mineral, o ionizador foi capaz de reverter a turbidez e a proliferação de algas. De forma ainda mais contundente, a segunda análise laboratorial confirmou a eliminação de coliformes totais e de *Escherichia coli*, adequando a água aos parâmetros de segurança da legislação vigente (Portaria GM/MS nº 888/2021).

Sob a ótica ambiental e da saúde pública, a pesquisa atende diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (dois mil e trinta), propondo uma inovação tecnológica de baixo impacto. O uso do ionizador solar reduz significativamente a dependência de produtos químicos convencionais como o cloro, mitigando a formação de subprodutos perigosos, como os trihalometanos (THMs), que possuem potencial carcinogênico e causam irritações nos banhistas.

Do ponto de vista da viabilidade econômica e técnica, o projeto destacou-se pela sua simplicidade e baixo custo de implementação, ao utilizar materiais acessíveis e uma configuração eletrônica de fácil replicação. O protótipo demonstra que a inovação tecnológica não requer, necessariamente, investimentos vultuosos. Esta característica é fundamental para a democratização do acesso a métodos de tratamento de água mais limpos, permitindo que proprietários de pequenas residências ou comunidades com recursos limitados possam adotar soluções

sustentáveis que, a médio prazo, se pagam através da economia gerada pela redução drástica na compra de produtos químicos convencionais.

Além dos aspectos laboratoriais, é imprescindível destacar o impacto positivo na experiência direta do utilizador. A transição para um sistema baseado em ionização por cobre elimina os efeitos adversos mais comuns do tratamento exclusivamente clorado, como o odor residual das cloraminas, o ressecamento da pele e a irritação ocular. Assim, a engenharia aplicada no trabalho não cumpre apenas uma função técnica de desinfecção, mas promove também uma melhoria qualitativa no lazer e na saúde ocupacional daqueles que utilizam o ambiente aquático, alinhando a eficiência biológica ao conforto humano.

Portanto, o ionizador solar representa uma alternativa ecológica e economicamente atrativa para a gestão hídrica das piscinas, apresentando um excelente custo-benefício e reduzidos custos operacionais por utilizar uma fonte de energia renovável.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10818: piscina**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Lei nº 14.327, de 13 de abril de 2022**. Dispõe sobre a instalação, a fiscalização e a manutenção de piscinas de uso coletivo. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 abr. 2022.

EKOWATI, Yuli et al. Application of UVOX Redox for swimming pool water treatment: microbial inactivation, disinfection byproduct formation and micropollutant removal. *Chemosphere*, v. 220, p. 176-184, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653518324615>. Acesso em: 27 jan. 2026.

HANSEN, Kamilla M. S. et al. Effect of ozonation of swimming pool water on formation of volatile disinfection by-products: a laboratory study. *Chemical Engineering Journal*, v. 289, p. 277-285, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894715017234>. Acesso em: 27 jan. 2026.

ILYAS, Huma et al. Disinfection methods for swimming pool water: byproduct formation and control. *Water*, v. 10, n. 6, p. 797, 2018. Acesso em: 26 abr. 2026.

KIM, Younggy. **Using silver and copper ions for bacterial disinfection and other applications**. 2021. Dissertação (Mestrado) - McMaster University, 2021. Disponível em: <https://macsphere.mcmaster.ca/bitstreams/0103b5dc-ea52-47ec-91b3-3b1117822c04/download>. Acesso em: 28 jan. 2026.

LANDEEN, Lee K.; YAHYA, Moyasar T.; KUTZ, Susan M.; GERBA, Charles P. Microbiological evaluation of copper-silver disinfection units for swimming pools. *Water Science & Technology*, v. 21, n. 3, p. 267-274, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.1989.0115>. Acesso em: 28 jan. 2026.

- LAZZARI, Nicole Haas. **Avaliação da ozonização na etapa de oxidação da matéria orgânica em estação de tratamento de água**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/216622>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- MARTINS, P. R.; ALMEIDA, J. C. Tecnologias sustentáveis para tratamento de água. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 4, p. 745-752, 2022.
- METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2014. Acesso em: 26 abr. 2026.
- MEYER, J. L. Chemistry of chlorination in swimming pools. *Journal of Environmental Health*, v. 56, n. 5, p. 12-15, 1994.
- ODM BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento do milênio**. Disponível em: <https://www.odmbrasil.gov.br>. Acesso em: 28 out. 2024.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 out. 2024.
- PARSONS, Simon (ed.). **Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment**. London: IWA Publishing, 2004. Acesso em: 26 abr. 2026.
- POOL & HOT TUB ALLIANCE (PHTA). **Bromine chemistry for spas and pools**. Disponível em: <https://www.phta.org/pub/?id=5661a1a3-1866-daac-99fb-0fe72f2178f1>. Acesso em: 27 jan. 2026.
- RICHARDSON, Susan D. *et al.* Trihalomethane formation during swimming pool water disinfection using hypobromous and hypochlorous acids. *Water Research*, v. 29, n. 4, p. 1203-1206, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- SHINOHARA, et al. Metal ions action in microbial inactivation. *Journal of Water Treatment*, 1983.
- SOUZA, L. M. et al. Inovações em tratamento de água de piscinas: uma abordagem sustentável. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 33., 2023, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ABES, 2023.
- TATARCHUK, T. et al. Water disinfection using hydrogen peroxide with fixed bed hematite catalyst: kinetic and activity studies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, p. 26592-26605, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32794-0>. Acesso em: 27 jan. 2026.